

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Nahrazení elektrodrátového řezání
Electro Wire Cutting Replacement

Student:
Vedoucí bakalářské práce:

Tomáš Křivohlávek
doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2011

Zadání bakalářské práce

Student:

Tomáš Krivohlávek

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Nahrazení elektrodrátového řezání
Electro Wire Cutting Replacement

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Metody elektroerozivního obrábění.
3. Návrh progresivní technologie.
4. Diskuze experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [2] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [3] VASILKO, K. *Analytická teória trieskového obrábania*. Prešov : COFIN Prešov, 2007. 338 s. ISBN 978-80-8073-759-7.
- [4] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archived/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [5] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie - část 2. Základy řízení jakosti*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2006. 86 s. ISBN 80-248-1209-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19.5.2011.....

Křivohlávek Tomáš.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 19.5.2011

Tomáš Krivohlávek
.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Tomáš Krivohlávek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Horní Čermná Nepomuky 11.

PSČ 563 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Křivohlávek, T. Nahrazení elektrodrátového řezání: bakalářská práce.
Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra
obrábění a montáže, 2011, Vedoucí práce: Doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc

Bakalářská práce se zabývá porovnáním dvou technologií, které se používají na výrobu střížníků. Byla realizována ve firmě Forez s.r.o.

V úvodní části práce je popsán princip a technologie elektroerozivního obrábění. V dalších částech je popsána nová technologie a technologické postupy pro výrobu součástí. Závěrem bakalářské práce je zhodnocení produktivity a vyhodnocení obou technologií.

ANNOTATION OF THE BACHELOR THESIS

Krivohlávek, T. Electro Wire Cutting Replacement: *Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB –Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2011, p. Thesis head: Vrba, V.

This bachelor thesis deals with comparison of two technologies which are used for punch production. It was realized in Forez s.r.o. company.

The principle and technology of electroerosion machining are described in the introductory chapter of the bachelor thesis. In the following chapters there is a description of new technology and technological processes of component production. The closing chapter concentrates on estimation of productivity and evaluation of both technologies.

Obsah

1. Úvod	8
2. Obecná charakteristika daného problému	9
2.1 Historie a údaje společnost FOREZ s.r.o.	10
3. Elektroerozivní obrábění.....	11
3.1 Princip úběru materiálu	12
3.2 Charakteristika výbojů.....	14
3.3 Materiál elektrod	15
3.4 Dielektrikum.....	17
3.5 Technologie elektroerozivního obrábění	20
3.5.1 Řezání drátovou elektrodou.....	20
3.5.2 Hloubení dutin zápustek a forem.....	23
3.5.3 Výroba složitých tvarových povrchů.....	24
3.5.4 Výroba mikrootvorů	25
3.5.5 Leštění povrchů	25
3.5.6 elektrokontaktní obrábění	26
4. Návrh progresivní technologie.....	27
4.1 Polotovar.....	27
4.2 Materiál střižníku.....	28
4.3 Tvarové broušení	28
4.3.1 Upínání obrobku	29
4.3.2 Výběr kotouče	29
4.4 Stroj	30
5. Diskuse experimentu.....	31
5.1 Technologický postup pro výrobu střižníku elektroerozivním obráběním	31
5.2 Technologický postup při použití tvarového broušení	33
5.3 Tabulka časů dle operací	34
5.3.1 Hodinové sazby na strojích	35
6. Technicko-ekonomické zhodnocení	36
7. Závěr	37
8. Seznam použité literatury	38
9. Seznam příloh	39

Seznam použitých zkratk:

CNC		computer numeric control / počítačově řízené stroje
HRC		Tvrdost podle Rockwella
HSC		high speed cutting - vysokorychlostní obrábění
Qi	mm ³	Množství materiálu odebraného jedním výbojem
Ra	μm	drsnot obrobeneho povrchu
We	J	energie výboje

1. Úvod

Strojírenství je velmi významný průmyslový obor, který se zabývá navrhováním a výrobou součástí, se kterými se denně setkáváme. Na tuto výrobu se kladou stále větší požadavky, jak na kvalitu, přesnost a tvarovou složitost, tak zejména na snižování výrobních časů. Velmi důležitým prvkem ve strojírenství je také správná volba použité technologie a stroje, na kterém budeme danou součást vyrábět. Všechny tyto požadavky mají velký vliv na konečnou cenu výrobku.

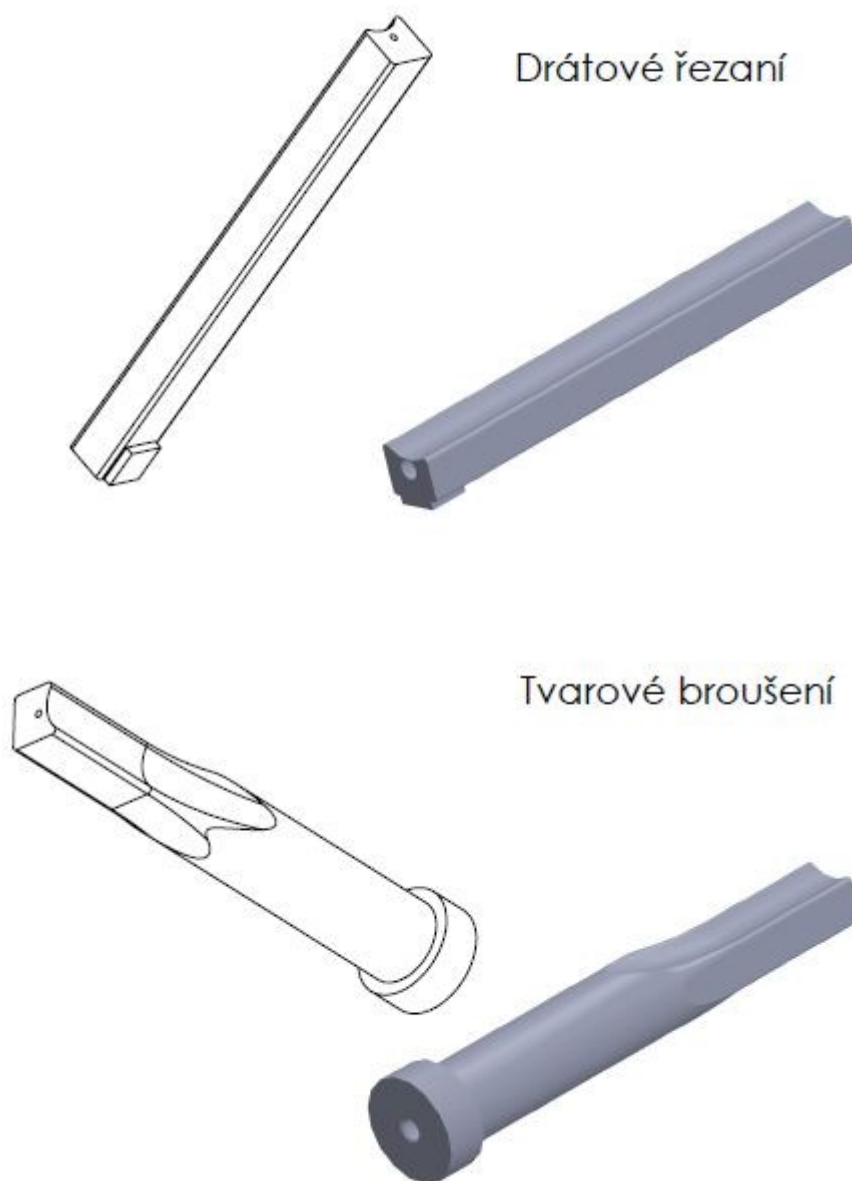
V dnešní době jsou do strojírenské výroby zaváděny stále nové materiály, které mají lepší vlastnosti pro použití v požadovaných podmínkách například otěruvzdornost, korozivzdornost, pevnost atd..

Z těchto důvodů jsou do výroby zařazovány nové metody obrábění, které se neustále zdokonalují. Ty jsou přesnější rychlejší a vhodnější pro daný materiál.

Do těchto metod mimo jiné spadají i nekonvenční metody, mezi které patří i elektroerozivní obrábění. To se používá převážně pro hůře obrobitelné materiály, nebo součásti kde je kladen velký důraz na tvary a přesnosti.

2. Obecná charakteristika daného problému

Bakalářská práce je zhotovena pro firmu FOREZ s.r.o. Hlavním úkolem je porovnání dvou technologií, které jsou používány na výrobu střížníků. Součást je vyrobena, jak technologií drátového řezání, tak technologií tvarového broušení. Střížník bude obráběn na drátové řezačce Agie Challenge drátem Agie cut Ø 0,2 mm a poté na tvarové brusce Amada gls 5T



Obr. 1 náhled výroby součásti

2.1 Historie a údaje společnost FOREZ s.r.o.

Společnost FOREZ s.r.o. má sídlo v Ostrově u Lanškrouna, kde působí od roku 1996. Tato společnost má v současné době kolem sto devadesáti zaměstnanců a spadá mezi středně velké nástrojárny.

Firma FOREZ s.r.o. je držitelem certifikátu řízení jakosti ČSN EN ISO 9001:2001. Společnost upřednostňuje nové trendy v obrábění. Je vybavena několika špičkovými stroji (CNC a HSC CNC frézky, elektroerozivními drátovými řezačkami AGIE CUT a elektroerozivními stroji AGIE), které pracují nepřetržitě 24 hodin 7 dní v týdnu.

Výroba:

- střížné, ohybové, kombinované a tažné nástroje do maximální délky 2000 mm.
- formy na vstřikování plastů do hmotnosti 5000kg
- lisované kovové díly
- plastové výlisky
- prototypové nástroje a formy
- přesné náhradní díly dle požadavku zákazníka

Certifikáty:

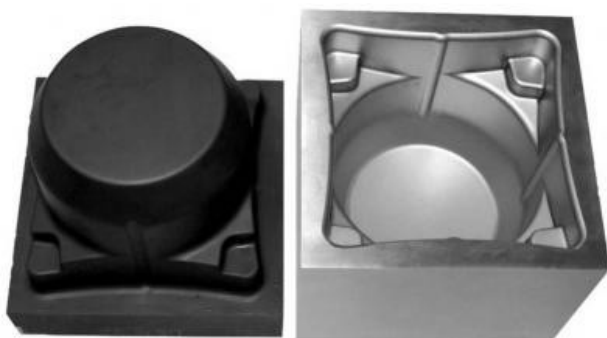
- ČSN EN ISO 9001:2008
(Výroba a prodej vstřikovacích forem a lisovacích nástrojů)
- ČSN EN ISO 14001:2005
(Výroba a prodej nástrojů a vstřikovacích forem
Výroba a prodej plastových a kovových výlisků)
- ISO/TS 16949:2002
(Výroba plastových a kovových dílů nebo jejich montážní sestavy, používaných v motorovém prostoru, podvozku a karoserii automobilů)

3. Elektroerozivní obrábění

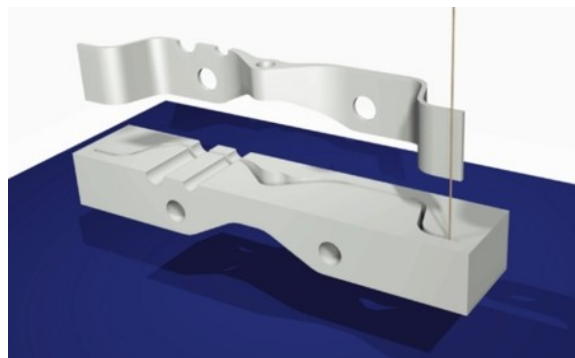
Tato technologie patří mezi nekonvenční metody obrábění. Na mnoha výrobcích se s Elektroerozivním obráběním setkáváme. Zjednodušeně můžeme tuto technologii popsat tak, že při vzájemném přiblížení obrobku (z vodivého materiálu) a nástroje (elektrody), na niž je přivedeno elektrický napětí dojde k elektrickému výboji, čímž dochází k roztavení mikroskopických částeczek materiálu obrobku. Tento roztavený materiál je následně vyplaven a odstraněn z prostoru obrábění. Tím vzniká požadovaný tvar či rozměr.

Tato metoda obrábění má největší výhody v tom, že jí lze použít tam, kde ostatní selhávají. Používá se hlavně pro obrábění problematických materiálů, tvarů a také pro výrobu velmi přesných rozměrů, které by bylo velmi problematické zhotovit jiným způsobem. Jsme schopni zhotovit součásti s přesností v řádech tisícín mikrometrů a drsnosti povrchu $Ra0,2$, což znamená, že jsme v mnoha případech schopni nahradit i broušení, které by bylo velmi nákladné u tvarově složitých součástí. Největší využití mají tyto stroje při výrobě forem, například pro automobilový průmysl, ale užívají se také ve velkosériových výrobach, například při výrobě nástrojů na třískové obrábění (frézy, vrtáky atd.).

PŘÍKLAD POUŽITÍ:



Obr 2. Grafitová elektroda a ocelový obrobek [2]



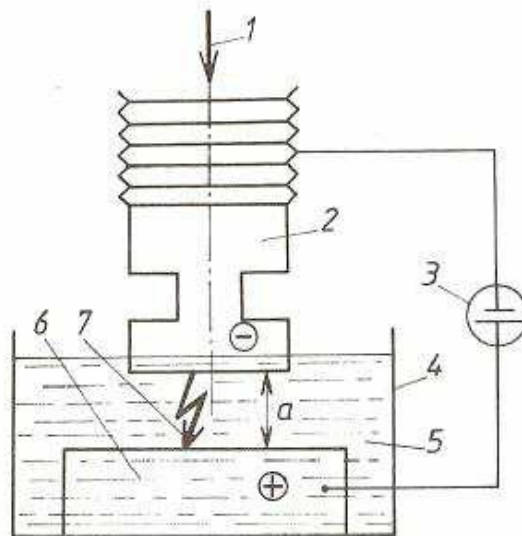
Obr 3. Drátové řezání [4]

3.1 Princip úběru materiálu

Úběr materiálu u elektroerozivního obrábění je realizován elektrickými výboji mezi katodou a anodou. Nejčastěji tvoří katodu nástrojová elektroda a anodu obrobek. Celá tato soustava je ponořena do tekutého dielektrika, které má velký vliv na průběh elektrického výboje. Materiál se taví a odpařuje vlivem vysoké koncentrace energie ($10^5\text{--}10^7 \text{ W}\cdot\text{mm}^{-2}$)

Metoda elektroerozivního obrábění vodivých materiálů je založena na využití tepelné

- 1) směr posuvu nástrojové elektrody
- 2) nástrojová elektroda
- 3) generátor
- 4) pracovní vana
- 5) tekuté dielektrikum
- 6) obrobek
- 7) elektrický výboj



Obr. 4: princip zařízení pro elektroerozivní obrábění [1]

Hlavní zásady elektroerozivního obrábění

Tímto způsobem lze obrábět všechny elektricky vodivé materiály

Pomocí zapojení a nastavení pracovních parametrů lze dosáhnout dvou druhů výbojů:

- Stacionární výboj (oblouk)
- Nestacionární výboj (jiskra)

Elektrody jsou vzdáleny v rozmezí $5\mu\text{m}$ až $100\mu\text{m}$

Musí být realizováno v dielektriku (plynné nebo kapalně)

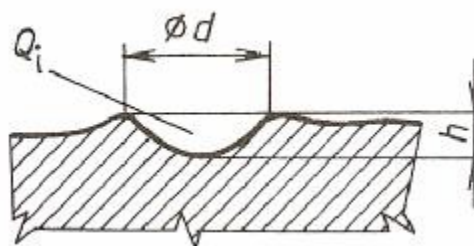
Fyzikální pochod úběru materiálu: [1]

- obrábění probíhá mezi dvěma elektrodami
- elektrody jsou ponořeny do dielektrika
- výboj vznikne přivedením elektrického napětí na elektrody; intenzita jeho působení závisí na:
 - elektrických parametrech výboje
 - vzdálenosti mezi elektrodami
 - znečištění dielektrika
 - vodivosti dielektrika
- K výboji dochází v místě nejsilnějšího elektrického napětíového pole poté, co pohyb volných záporných a kladných iontů v elektrickém poli dosáhne postupně vysoké rychlosti a po překonání odporu dielektrika dojde k vytvoření vodivého (ionizovaného) kanálu mezi elektrodami, tzv. výbojového kanálu.
- V místě výboje vzniká teplota 3000 až 12000 °C, dochází k tání a odpařování materiálu elektrod. Současně se vypařuje dielektrikum, vznikají bubliny, které praskají a vzniklé dynamické síly odebírají v místě výboje z obrobku částičky materiálu.
- Přerušením (vypnutím) elektrického obvodu dojde ke snížení teploty, poklesu tlaku plynů a roztavený materiál je odstraněn z místa výboje, vznikne kráter, jehož objem je řádově 10^{-3} až 10^{-5} mm^3

Celkové množství materiálu odebraného výbojem se rozloží na úběr na anodě a úběr na katodě. Cílem procesu je dosáhnout opakovanými výboji na elektrodě, kterou tvoří obrobek, maximálního úběru materiálu a na elektrodě, kterou tvoří nástroj, minimálního opotřebení (tj. úběru), a to při požadované produktivitě, tvarové přesnosti a jakosti opracované plochy. [1]

3.2 Charakteristika výbojů

Velikost a tvar kráteru vzniklé výbojem jsou závislé na době trvání a energii výboje. Velikost kráteru má vliv na jakost obráběného povrchu, účinnost procesu obrábění a na přesnost rozměrů obrobku. Úběrem materiálu za čas souvisí dosažená přesnost a drsnost povrchu. Se zvětšujícím úběrem se zmenšuje přesnost a drsnost povrchu se zvětšuje. Množství odebraného materiálu je závislé na frekvenci výbojů a na energii výboje.



Obr. 5.: Tvar kráteru vzniklého elektrickým výbojem [1]

Množství materiálu odebraného jedním výbojem Q_i : [1]

$$Q_i = k \cdot W_e \text{ (mm}^3\text{)}$$

$$W_e = U_e \cdot I_e \cdot t_i \text{ (J)}$$

W_e je energie výboje,

k – součinitel úměrnosti pro katodu a anodu

U_e – střední napájecí napětí

I_e – střední napájecí proud

t_i – trvání pulzu

Podle časového průběhu dodání energie do místa výboje se elektrické výboje dělí a jsou charakterizovány takto:[1]

Druh výboje	Elektrickou jiskrou	Nestacionárním krátkodobým elektrickým obloukem
Trvání pulzu	Kratke $t_i = 10^{-4}$ až 10^{-6} s	Vyšší hodnoty $t_i > 10^{-4}$
Časové využití periody výboje	Malé hodnoty $q = 0,03$ až $0,2$	Vyšší hodnoty $q = 0,2$ až 1
Frekvence výbojů	Vysoká	Nižší
Hustota proudu v místě výboje	Asi 10^6 A mm ⁻²	10^2 až 10^3 A mm ⁻²
Ve výbojovém kanále převládá:	Elektronová vodivost	Iontová vodivost
Teplota ve výbojovém kanále	Vysoká Až $12\,000$ °C	Nižší $3\,300$ až $3\,600$ °C
Energie jednotlivých výbojů	Nižší $W_e = 10^{-5}$ až 10^{-1} J	vyšší $W_e = 10^2$ J
Používá se pro:	Menší úběry (dokončovací operace)	Větší úběry (hrubovací operace)

3.3 Materiál elektrod

Při volbě materiálu elektrod je nutné přihlížet k řadě ovlivňujících faktorů jako výsledná požadovaná jakost povrchu, efektivnost pracovního procesu a je nutno zvolit nejvhodnější materiál elektrody pro daný druh obrábění.

Volbě materiálu elektrod je třeba věnovat zvýšenou pozornost i z ekonomického hlediska, neboť náklady na materiál a výrobu elektrody mohou dosahovat až 40 % celkových nákladů a to především u elektroerozivního hloubení.

Nástrojové elektrody lze vyrobit z materiálu, které mají: [1]

- dobrou elektrickou vodivost
- dobrou tepelnou vodivost a tepelnou kapacitu
- vysoký bod tání a bod varu
- odolnost proti elektrické erozi
- vyhovující mechanickou pevnost
- stálost tvarů a malou tepelnou roztažnost
- dobrou obrobitelnost

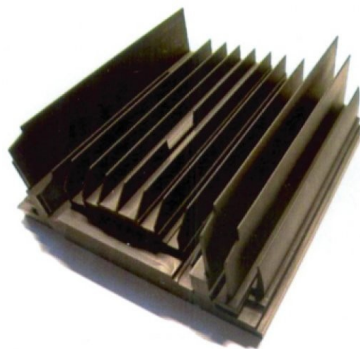
Nejčastěji používané materiály pro výrobu elektrod:

- elektrolytická měď,
- wolframová měď (50 - 80% Wolframu a 50 – 20 % Mědi),
- mosaz,
- slitiny hliníku,
- wolfram (pouze pro mikroděrování),
- ocel,
- grafit.

V dnešní době se již kovové elektrody takřka nepoužívají, byly nahrazeny elektrodami z grafitu, který vykazuje velmi malé hodnoty opotřebení.

Nevýhodou je malá pevnost grafitu a problematická je výroba tvarových grafitových elektrod (nutnost obrábění na vysokootáčkových strojích až (40 000) ot/s a vysoká prašnost při obrábění – nutnost odsávání)

Příklad elektrody:



Obr. 6. Nástrojové elektrody

a) elektroda s ostrými hranami vyrobená z grafitu [5]

Důvody opotřebení elektrod jsou [3]

- Oddělování jednotlivých iontů nebo celých částeczek kovu v důsledku velké hustoty elektronů ve výbojovém povrchu
- Rozrušení elektrody v důsledku kolísání proudu výboje nebo vlivem polaritý výboje
- Rozrušení v důsledku termických vlivů (vysoká teplota při výboji, nepravidelný ohřev součásti a elektrody během výboje).
- Rozrušení v důsledku mechanických nárazů částeczek oddělených od obráběného materiálu
- Chyby v materiálu elektrody (pórovitost nebo struktura)
- Velké opotřebení v důsledku nepříznivých pracovních podmínek (špatná cirkulace dielektrika, vysoká hustota proudu apod.)

3.4 Dielektrikum

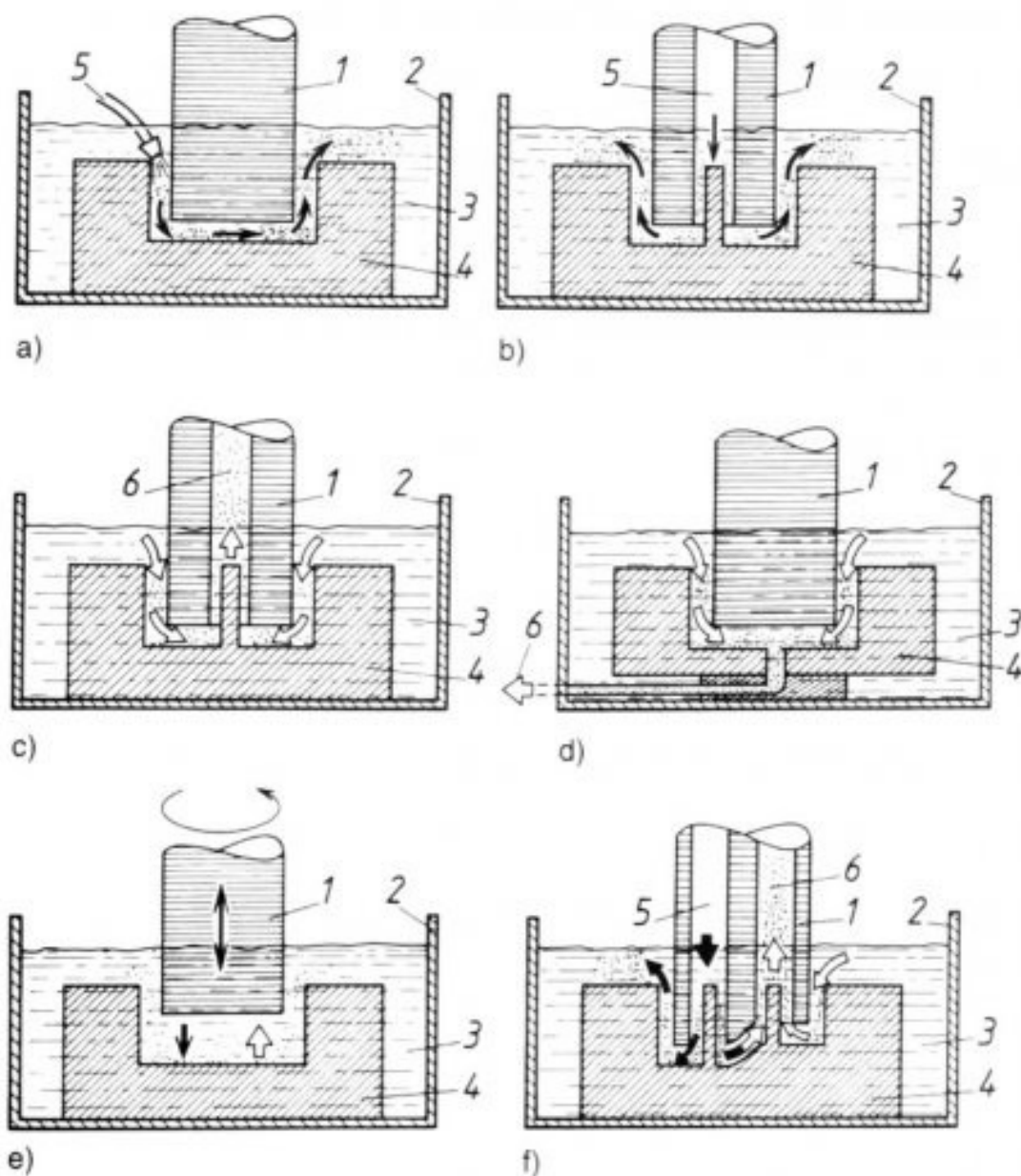
Dielektrikum je velmi důležitý prvek při procesu elektroerozivního obrábění. Má velký vliv na průběh elektrického výboje, který je základem při tomto způsobu obrábění. Působí jako izolátor mezi elektrodami. Dále slouží k odstranění odebraného materiálu z místa výboje a odvádí vzniklé teplo.

Má splňovat tyto požadavky: [3]

- Musí mít určitou průbojnost, která zajišťuje dostatečný odpor mezi anodou a katodou (vzdálenost může být menší než 0,01 mm) tak, aby průchod proudu mezi oběma elektrodami vyústil ve výboj. Výbojové napětí může být podle typu obvodu variabilní, u relaxačních obvodů 60 V až 300 V.
- Musí mít malou viskozitu a dobrou smáčivost, aby se rychle obnovovala izolace po výboji.
- Musí být chemicky neutrální k zamezení koroze
- Musí mít dostatečně vysokou teplotu hoření, aby nedocházelo k vzplanutí
- Nesmějí vznikat jedovaté plyny a nepříjemný zápach
- Musí být stálá, snadno vyrobitelná a laciná

Druhy přívodů dielektrika do místa obrábění.

- **Vnější vyplachování** (Obr. 7a) – Používá se pro dutiny s větší hloubkou, často je používáno s pulzním vyplachováním.
- **Vnitřní tlakové vyplachování** (Obr. 7b) - V nástrojové elektrodě je vytvořen otvor pro přívod dielektrika do pracovního prostoru. Nepříznivým vlivem jsou zde odváděné částice odebraného materiálu, které jsou zdrojem nežádoucích výbojů na bocích dutiny (především v horní části) a to má za následek horší tvarovou přesnost.
- **Vyplachování odsáváním** (Obr. 7c,7d) - Zaručuje velmi dobrou tvarovou přesnost. Odsávání je možné provést dutinou v obrobku, nebo v elektrodě.
- **Pulzní vyplachování** (Obr. 7e) - Vhodný pro hluboké dutiny při použití Tenkých elektrod a pro dokončovací obrábění na čisto. Je založeno na krátkém přerušení elektroeroze (0,15 s až 10 s) a na oddálení nástrojových elektrod od obrobku (0,02 mm až 10mm), zvětší se pracovní mezera a dokonale se vypláchne. Někdy je oddálení elektrody doprovázeno jejím otáčením. Po nastavení optimální mezery je napájecí proud opět zapnut.
- **Kombinované vyplachování** (Obr. 7f) - je kombinací vnitřního tlakového vyplachování a odsávání. Tímto lze odstranit chyby tvaru obráběné dutiny a můžeme tak hloubit složité tvarové dutiny.



Obr. 7. : Přívod dielektrika mezi obrobek a nástrojovou elektrodu – vyplachování

A) vnější, b) tlakové vnitřní, c),d) odsávání, e) pulzní, f) kombinované

1 - nástrojová elektroda, 2 - pracovní vana, 3 – dielektrikum, 4 – obrobek,
 5 – přívod dielektrika, 6 – odsávání dielektrika [1]

3.5 Technologie elektroerozivního obrábění

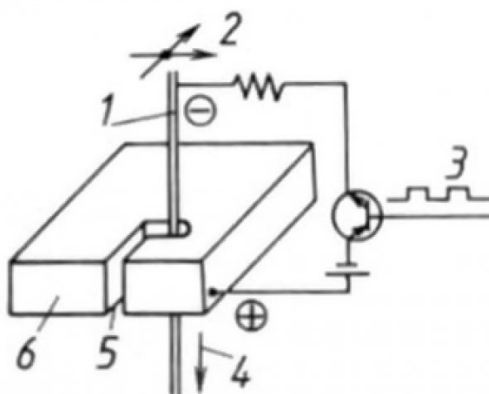
Mezi nejčastější používané technologie patří:

- Řezání drátovou elektrodou
- Hloubení dutin zápustek a forem
- Výroba složitých tvarových povrchů
- Výroba mikrootvorů
- Leštění povrchů

3.5.1 Řezání drátovou elektrodou

Elektrojiskrové drátové řezání (Wire Electrical Discharge Machining – WEDM) je modifikace elektrojiskrového obrábění. Jeho zavedení znamenalo výrazný pokrok ve strojírenské výrobě. Používá se při výrobě tvářecích, střížných a v neposlední řadě i lisovacích nástrojů.

Princip metody řezání drátovou elektrodou



Obr. 8. Princip drátového řezání [5]

- 1 - drátová elektroda
- 2 - CNC řídicí systém
- 3 - generátor
- 4 - směr posuvu nástrojové elektrody
- 5 - pracovní mezera
- 6 – obrobek

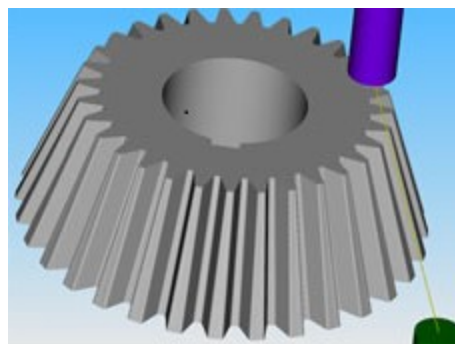
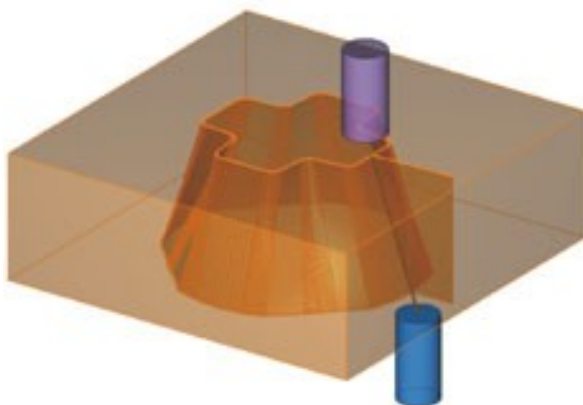
Metoda využívá veškeré výše zmíněné zákonitosti elektrické eroze. Obráběná součást je připojena jako elektroda opačné polaroty. Způsob zapojení je dán polaritou a typem výbojů.

Jako nástrojová elektroda se zde používá slabý vodivý drát. Tento drát se odvíjí ze zásobníku, který je umístěn v konstrukci stroje. Drát prochází místem řezu pouze jednou a pote je navíjen na protilehlou cívku a dále se nepoužívá. Díky tomuto způsobu se zamezí opotřebení nástroje, které by mělo vliv na výslednou přesnost dílce. Drát je většinou měděný, na větší průměry se používá mosazný a na velmi jemné řezy se používá molybdenový drát o průměru 0,03 až 0,07 mm.

Dnes se v převážné míře používají tranzistorové generátory (jednopolové výboje o vysoké frekvenci a malé hodnotě t_i), pro které je charakteristická přímá polarita (nástroj jako katoda, obrobek jako anoda). Elektrickými výboji, vznikajícími mezi drátovou elektrodou a obrobkem se vytváří pracovní mezera a tím se realizuje vlastní řez. [6]

Přesnost obrobeného tvaru je závislá na:

- Přesností vedení drátu
- CNC řídicí systém
- Stabilita nastavených parametrů
- Kvalita a přívod dielektrika
- Kvalita stroje



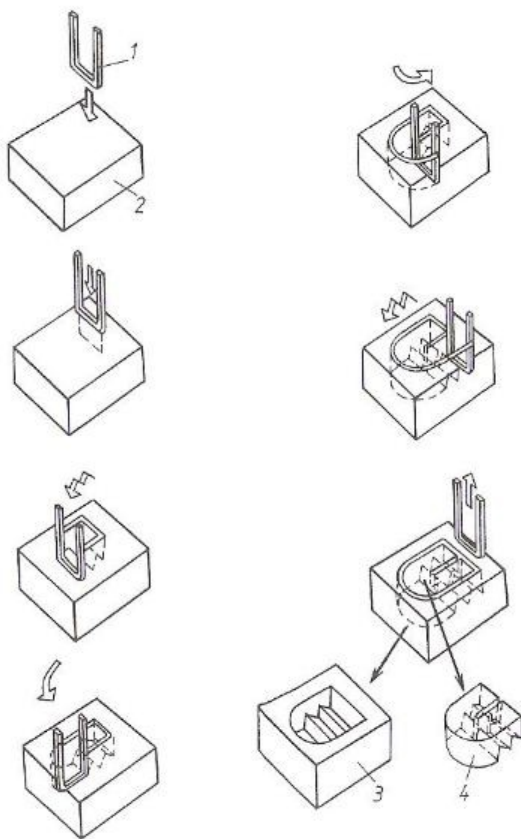
Obr. 9. Příklad vedení drátu u víceosých drátových řezaček [7]

Dosahované technologické parametry při elektroerozivním řezání drátovou elektrodou: [1]

- maximální úběr materiálu 35 mm². min⁻¹ až 200 mm². min⁻¹
- rovnoběžnost řezu do 2 μm na 100 mm tloušťky materiálu
- jakost obrobku Ra = 0,15 μm až 0,3 μm
- přesnost rozměrů a tvaru povrchu závisí na tepelné stabilizaci stroje:
- při kolísání teploty ± 3 °C je přesnost ± 3 μm
- při kolísání teploty ± 1 °C je odchylka ± 1 μm
- maximální tloušťka řezaného materiálu 350 mm

řezání tvarovou drátovou elektrodou

Jedná se o vyřezávání třírozměrných tvarů tvarovou elektrodou. Tato elektroda je převážně vyráběna z mědi a má tvar trubky obdélníkového průřezu. Tento průřez je volen díky jeho pevnosti a tuhosti. Vyřezaný tvar je výsledkem tvaru elektrody a pohybu elektrody vůči obrobku. Tímto způsobem jsme schopni vyřezat například kapsu nebo drážku. Výpočet takové elektrody je velmi složitý, proto nám v dnešní době pro její výrobu slouží programy zaměřené na tuto problematiku.

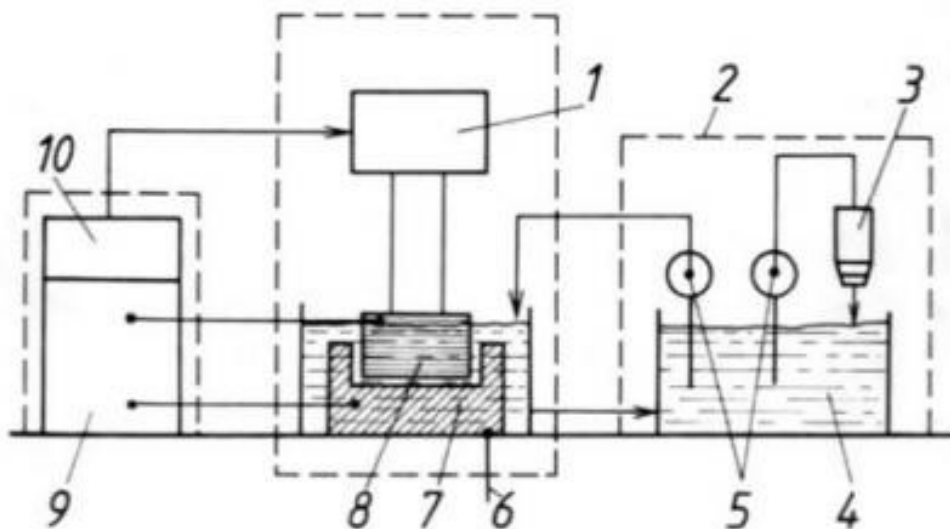


Obr. 10. Princip výroby dutiny formy drátovou elektrodou [1]

- 1- nástrojová drátová elektroda
- 2- polotovár
- 3- vyrobená forma
- 4- odebraný materiál

3.5.2 Hloubení dutin zápustek a forem

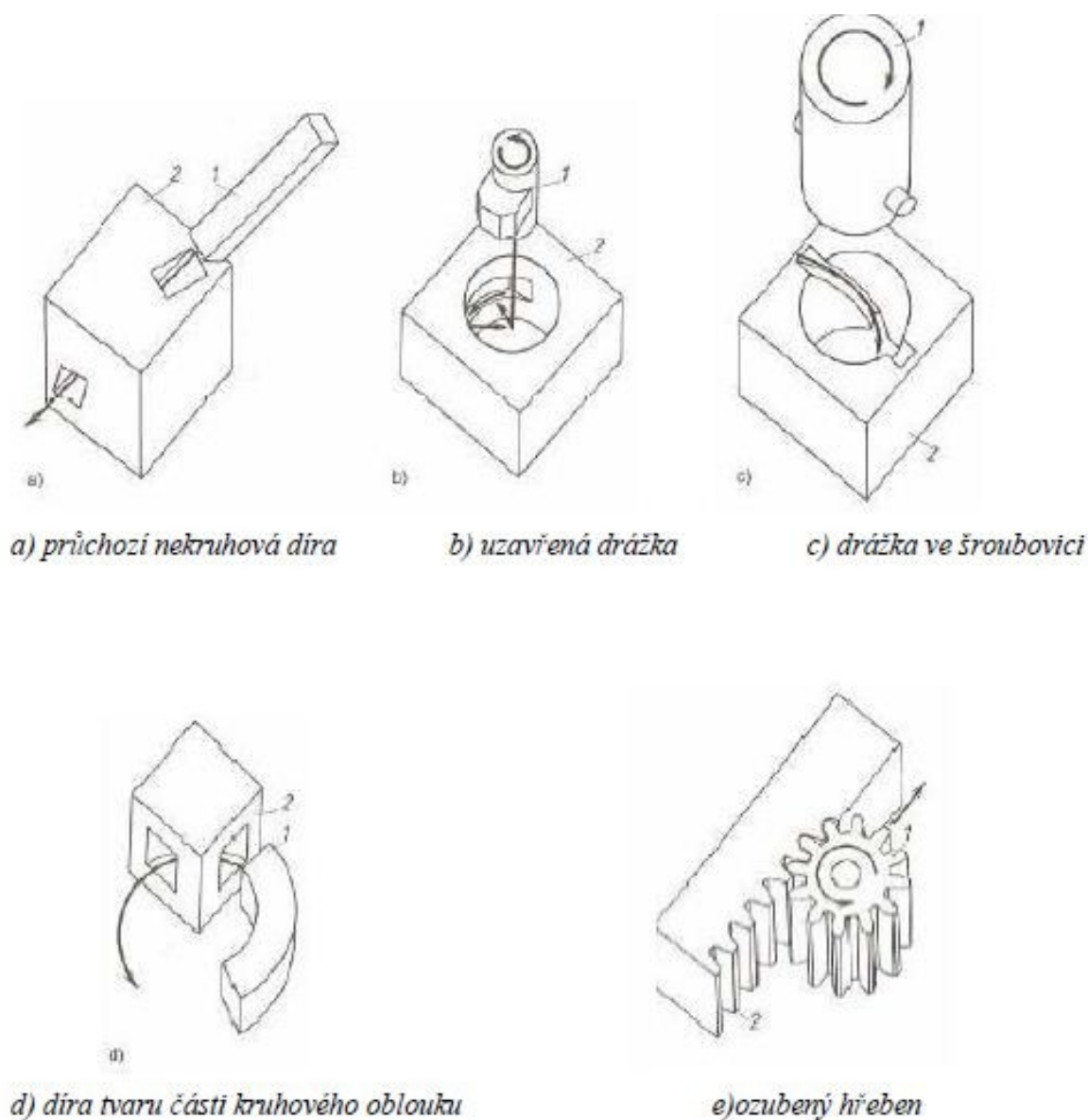
Moderní stroje mají všechny činnosti řízeny CNC řídicím systémem. Konkrétně se jedná o řízení směru a rychlosti pohybů, polohy pracovního stolu, pracovních parametrů generátoru, přívodu dielektrika, automatické výměny elektrod v zásobníku, rychlosti přísuvu elektrody a kontrolu probíhající elektroeroze. Řídicí systémy umožňují snadné naprogramování stroje. Postup úběru materiálu lze simulovat na obrazovce. Elektroerozivní stroje pro hloubení dutin se vyrábějí také v provedení, které umožňuje bezobslužný provoz až po dobu 48 hodin. Jednotlivé technologické aplikace vyžadují různé formy elektrických výbojů, které jsou na nástrojovou elektrodu a na obrobek přiváděny z generátoru ve formě pulzů o určité frekvenci. Každý pulz je charakterizován napětím, proudem a tvarem.



Obr. 11. Schéma elektroerozivního stroje [5]
1 – pracovní hlava, 2 – filtrační zařízení, 3 – filtr,
4 – dielektrikum, 5 – čerpadlo, 6 – pracovní stůl,
7 – obrobek, 8 – nástrojová elektroda, 9 – generátor,
10 – CNC řídicí systém [5]

3.5.3 Výroba složitých tvarových povrchů

Výroba složitých tvarových povrchů je velmi podobná technologii hloubení dutin zápusťek a forem. Na rozdíl od předešlé technologie se však zabývá výrobou složitých povrchů. Tato technologie slouží převážně k výrobě průchozích děr, drážek, nebo vnějších tvarů.



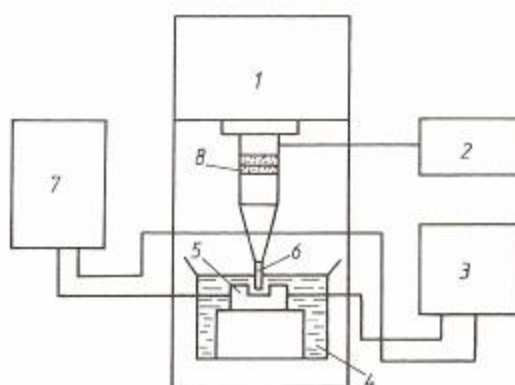
Obr. 12. : Výroba povrchů kombinací tvaru a pohybů nástrojové elektrody [1]

1 – nástrojová elektroda, 2 – obrobek

3.5.4 Výroba mikrootvorů

Elektroerozivní hloubení děr umožňuje výrobu jak kruhových tak i tvarových otvorů, které se pohybují ve velikostech 0,02 mm do 5 mm a do hloubky 100 mm. Stroje pro výrobu mikrootvorů jsou vybaveny optickým zařízením, které slouží k polohování elektrody.

Na výrobu otvorů se používají generátory pulzů, o malé energii a krátké době trvání. Nástrojové elektrody se vyrábí převážně z wolframu. Přesnost výroby elektrody je závislá na požadované přesnosti otvoru. Touto metodou jsme schopni dosáhnout povrchu až R_a 0,08



Obr. 13: Schéma stroje pro výrobu mikrootvorů elektroerozivní technologií [1]

- 1 – elektroerozivní stroj, 2 – ultrazvukový generátor, 3 – řídicí systém stroje,
4 – dielektrikum, 5 – obrobek, 6 – nástrojová elektroda, 7 – generátor pulzů
8 – převodník elektrických kmitů na mechanické kmity

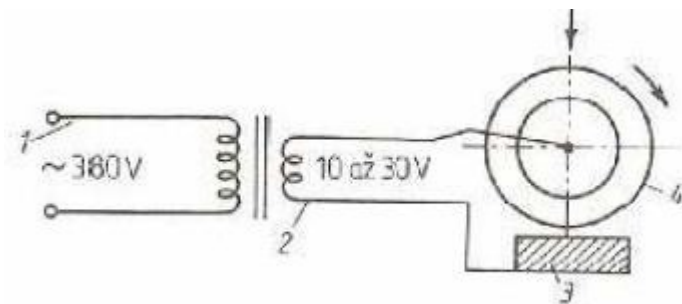
3.5.5 Leštění povrchů

Tato metoda elektroerozivního obrábění se používá hlavně při výrobě forem a zápuštěk. Uplatní se v případech kde je požadován povrch $R_a = 0,2 \mu\text{m}$.

U Elektroerozivního leštění se používají pulzy o nízké energii a malé době trvání (3 až 5 μs). Používají se leštěné elektrody.

3.5.6 elektrokontaktní obrábění

Elektrokontaktní obrábění je zvláštní případ elektroerozivního obrábění. Dochází při něm k úběru materiálu pomocí elektrických nestacionárních kontaktních obloukových výbojů. Nástroj a obrobek jsou zapojeny do střídavého napětí. Používá se transformátor o výkonu 10 až 250 kW při frekvenci 50 až 500 Hz. Elektroda vykonává při práci otáčivý pohyb, který zabraňuje sváření elektrody a obrobku. Tento typ obrábění se používá jen ve zvláštních případech.

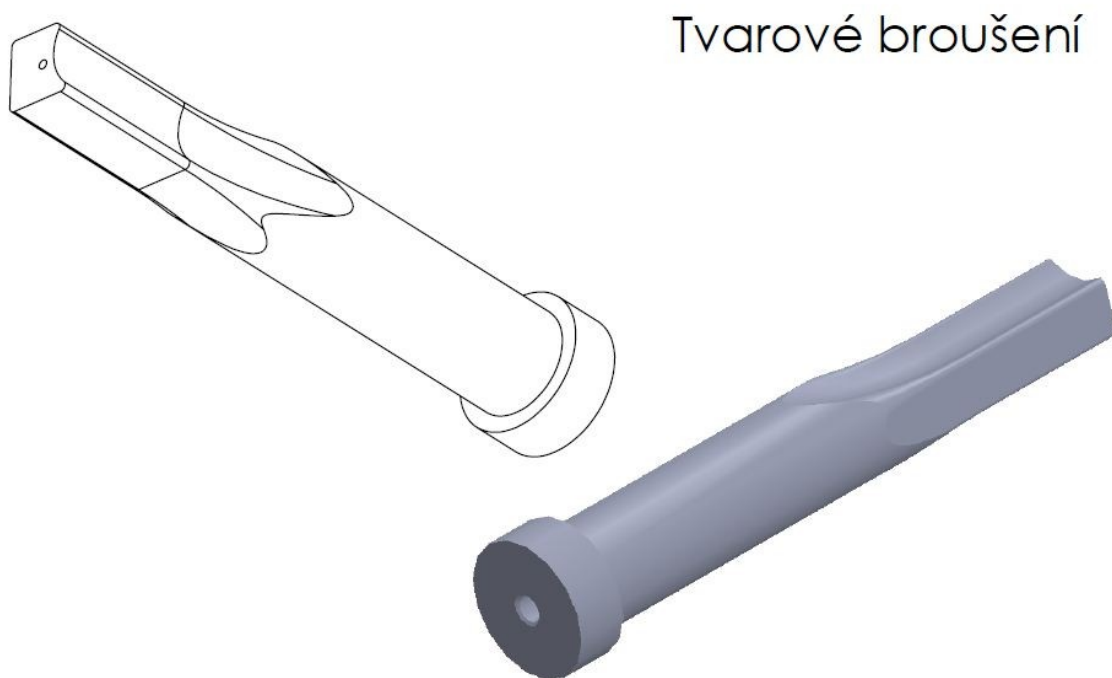


Obr.14: Princip stroje pro elektrokontaktní dělení materiálů [1]

1) napájecí zdroj, 2) transformátor, 3) obrobek, 4) nástrojová elektroda

4. Návrh progresivní technologie

Pro výrobu střížníků jsme hledali technologický postup, který by splňoval jak technologické tak ekonomické požadavky firmy FOREZ s.r.o. Střížné nástroje se převážně vyrábějí v malém počtu, proto jsme zvolili technologii tvarového broušení z předem zakoupeného polotovaru. Zakoupeným polotovarem jsme výrazně snížili cenu daného střížníku. Při této technologii není materiál tak zatížen jako při technologii drátového řezání. Jeho povrch je velmi kvalitní a v praxi se velmi osvědčil díky větší odolnosti proti lomu. Oproti elektroerozivnímu drátovému řezání se výrazně mění i geometrie střížného nástroje. Střížník má větší a pevnější tělo, díky kterému se zvyšuje trvanlivost.



Tvarové broušení

Obr. 15. pohled tvarového broušení

4.1 Polotovar

Polotovar pro výrobu střížníků jsme zakoupili u firmy MISUMI. Tato společnost se zabývá dodávkou mechanických součástí pro speciální strojírenství. Mezi tyto dodávky patří i součásti a polotovary, které se využívají na vysekávací nástroje a vstřikovací formy. Firma MISUMI vyrábí mimo jiné polotovary vhodné pro technologii tvarového broušení, kde je tvar těla střížníku i s otvorem již vyroben.



Obr. 16. Příklad výrobků MISUMI [8]

4.2 Materiál střížníku

Na střížníky se používá materiál 1.3343 (X82WMoCrV654). Jedná se o rychlořeznou, výkonnou Mo-W ocel s vysokou houževnatostí. Má velmi dobré mechanické vlastnosti, dá se kalit. Je to velmi vhodný materiál pro výrobu střížníků.

Tento materiál se používá na:

- na řezné nástroje, pro obrábění,
- na řezné nástroje, pro řezání, krájení a sekání,
- na nástroje pro tváření za studena, na protlačovadla,

C	Cr	Mn	Mo	P	S	Si	V	W
0,8-0,9	3,8-4,6	≤0,45	4,5-5,5	≤0,035	≤0,035	≤0,45	1,5-2,2	5,5-7

4.3 Tvarové broušení

Technologie tvarového broušení je dnes uznávaným způsobem obrábění. Díky požadavkům zákazníku je vyžadována vysoká přesnost a kvalita, kterou lze dosáhnout právě technologií broušení. V dnešní době jsou již stroje a nástroje na takové úrovni, že není potřeba tvar zdlouhavě hrubovat na jiných strojích. Stroj Amada GLS-5T představuje velmi výhodnou volbu pro výrobu střížníků. Tato bruska je schopna vyrábět velmi přesné a tvarově náročné součásti. Při technologii tvarového broušení se používá, jak broušení

čelem nástroje, tak i broušení obvodem brusného kotouče. Nástroj vykonává přímočarý vratný pohyb a zároveň realizuje přísuv. Nástroj vykoná přísuv vždy po obroušení dané hloubky a to v krajních úvratích posuvu.

4.3.1 Upínání obrobku

Obrobek při technologii tvarového broušení musí být kvalitně a přesně upnut. Velmi důležitá je přesnost upnutí, ta má významný vliv na konečnou přesnost výrobku. Pro upínání se používají např.:

- Přesné strojní svěráky
- Magnetické stoly
- Přesná sklíčidla
- Prizmatické upínače

4.3.2 Výběr kotouče

Brusné kotouče mají samozřejmě velký vliv na přesnost a v neposlední řadě cenu obrobku. V dnešní době je obrovský výběr nástrojů pro broušení. Pro naše použití jsme zvolili kotouče s brusivem KNB (kubický nitrid bóru), tento materiál má výborné vlastnosti při použití na kalené oceli. Materiál KBN je syntetický materiál s podobnými vlastnostmi jako diamant. Na rozdíl od diamantu má vyšší chemickou stálost a tepelnou odolnost (přibližně do 1200 °C). Z těchto důvodů se používá hlavně na vysoce pevné oceli. Dokončený povrch je velmi kvalitní a vesměs lepší než po broušení jiným brusivem.

Použití kotoučů KBN má tyto výhody:

- Možnost obrábění tvrdých materiálů
- Vysoký výkon broušení
- vysokou životnost a stálost tvaru kotouče.

4.4 Stroj

Amada GLS-5T

Optická Profilová CNC Bruska

Je to čtyřosá CNC profilová bruska. Tato bruska má široké použití na výrobu přesných tvarových součástí. Tento stroj umožňuje velmi snadné programování díky kvalitně zpracovanému řídicímu systému. Umožní velmi přesné broušení díky kvalitnímu měření.

Tento stroj je používán zejména pro výrobu razníků a střížných nástrojů, menších rozměrů. Umožní broušení bez nutnosti hrubování na jiných strojích.

Je tu možnost dokoupit jak robotický výměník obrobků, tak i otočné zařízení pro upnutí.



Obr. 17. Stroj Amada GLS 5-T

5. Diskuse experimentu

V diskuzi experimentu jsem se zaměřil na technologické postupy výroby střížníku. Jsou zde popsány operace a stroje použité při výrobě. Vyrobili jsme součást nejdříve technologií s použitím elektroerozivního obrábění a poté technologií s použitím tvarového broušení.

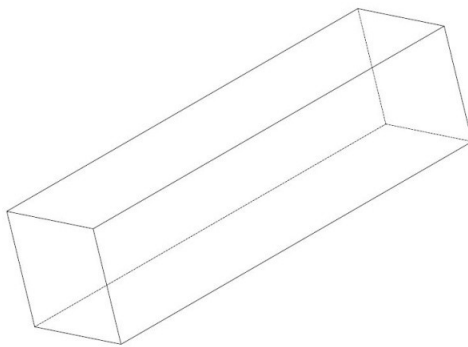
5.1 Technologický postup pro výrobu střížníku elektroerozivním obráběním

Polotovar: 70x20x20 váha 0,218 Kg

Materiál: 1.3343

- 1) Frézování polotovaru na rozměr 66x18x18 (s přídavkem na broušení 0,2)

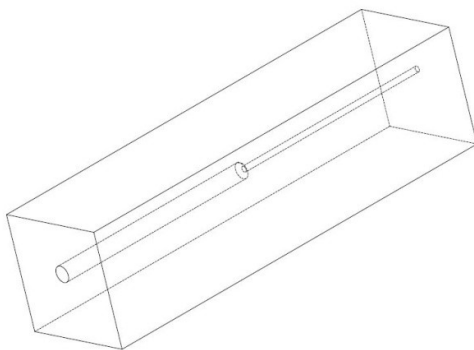
Fréza FN25 500x200x400



Obr. 18. náhled operace frézování

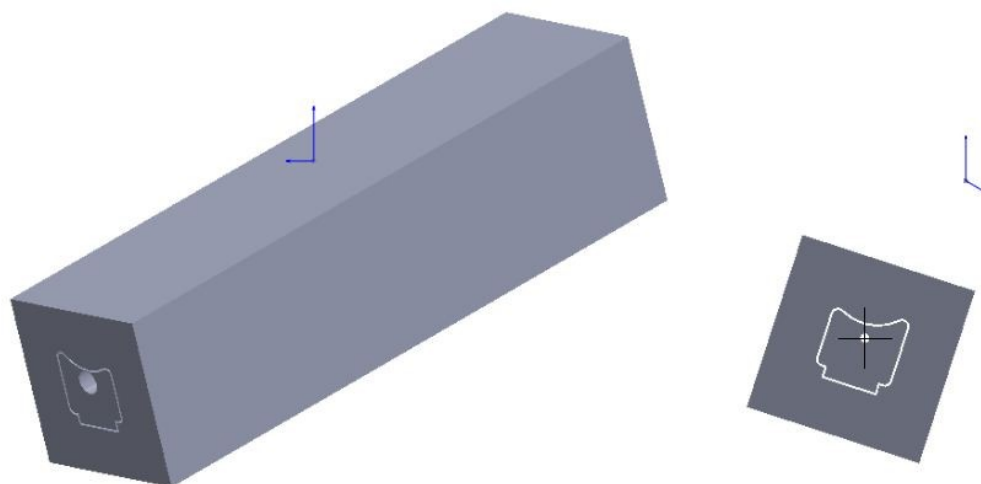
- 2) Vrtání otvoru $D = 0,85$ mm a otvoru pro závit $D = 2,8$ mm

Souřadnicová svrtávačka BKOV 400x630

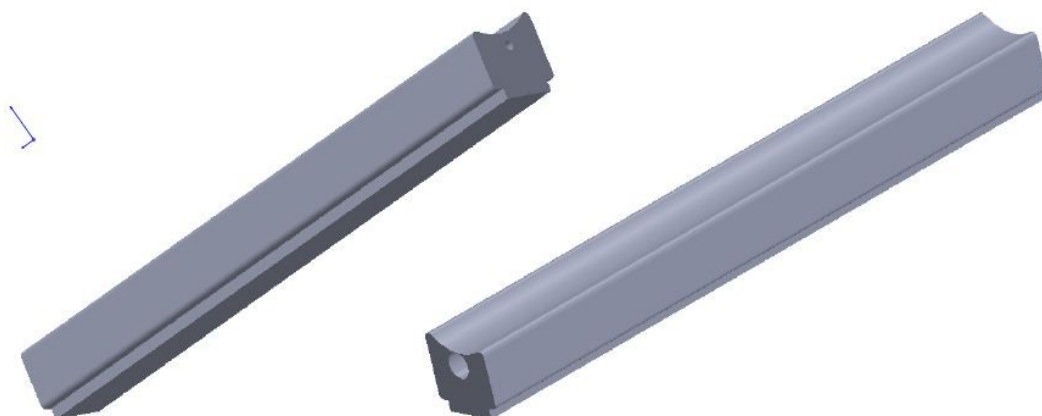


Obr. 19. náhled operace vrtání

- 3) Kalení na 60 HRC
- 4) Broušení bloku na rozměr pro operaci drátového řezání
Bruska – tvarová BPH 20NA 200x500
- 5) elektrodrátové řezání
Agie Challenge 2 350x250x250



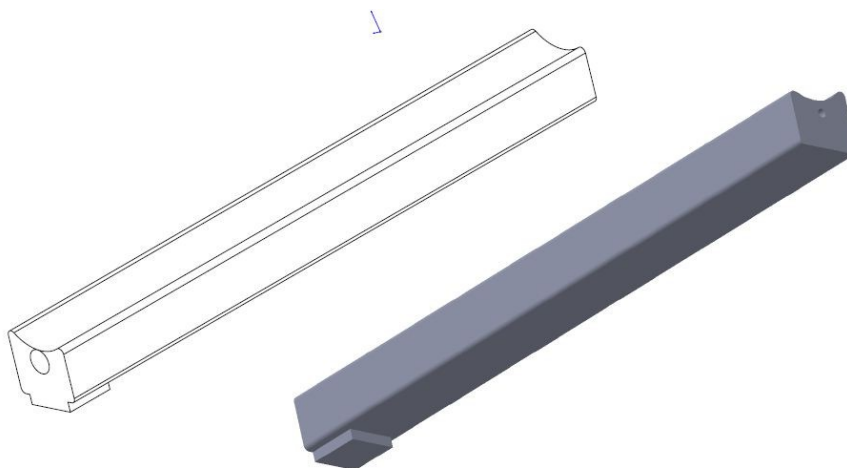
Obr. 20. náhled operace elektrodrátového řezání



Obr. 21. náhled operace elektrodrátového řezání

6) Broušení výstupku pro ukotvení

Bruska – tvarová BPH 20NA 200x500



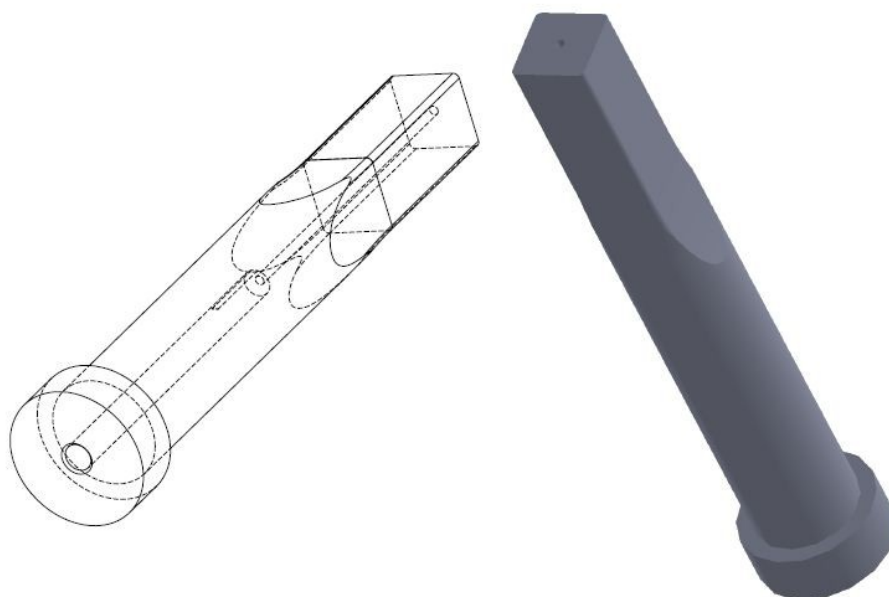
Obr. 22. náhled operace broušení výstupku

5.2 Technologický postup při použití tvarového broušení

Polotovar: Zakoupen od firmy MISUMI dle katalogu

Materiál: 1.3343

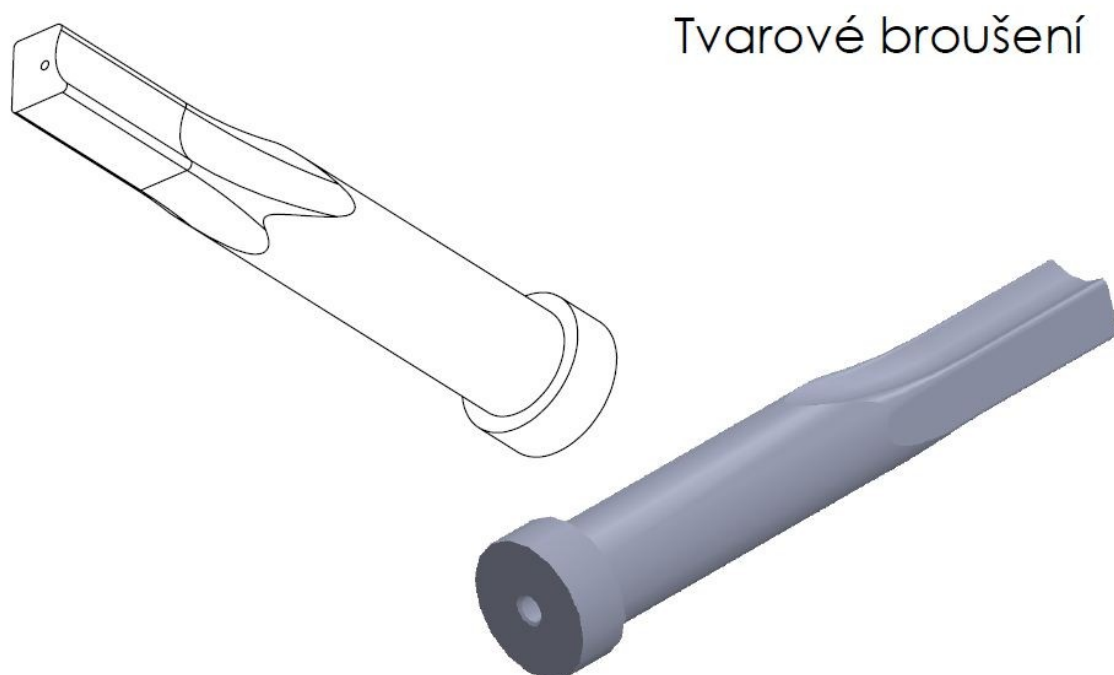
Polotovar : Zakoupen od firmy MISUMI (je již tepelně zpracován) viz Obr 5.2.1



Obr. 23. polotovar střížníku

Broušení tvaru dle výkresu viz obr.5.2.2

Optická Profilová CNC Bruska Amada GLS-5T



Obr. 24. součást po tvarovém broušení

5.3 Tabulka časů dle operací

Technologie výroby elektroerozivním způsobem

číslo operace	druh operace	čas (min)
1	Frézování polotovaru na rozměr	60
2	vrtání	45
3	kalení	
4	Broušení bloku	30
5	Drátová řezačka	60

6	Broušení výstupku	20
---	-------------------	----

Celkový čas		215
-------------	--	-----

Technologie výroby tvarovým broušením

V této operaci je jen čas broušení díky zakoupenému polotovaru na kterém není potřeba dalších úprav.

číslo operace	druh operace	čas (min)
1	Tvarové broušení	105

5.3 Hodinové sazby na strojích

STROJ	Cena Kč/h
Fréza FN25 500x200x400	350
Souřadnicová svrtávačka BKOV 400x630	250
Bruska – tvarová BPH 20NA 200x500	300
Agie Challenge 2 350x250x250	800
Bruska Amada GLS-5T	500

6. Technicko-ekonomické zhodnocení

Z těchto tabulek, je na první pohled zřejmé, že nová technologie s použitím tvarového broušení je levnější. Je také mnohem méně náročná na technologické přípravy, protože je zapotřebí jen jeden stroj. Při kusové výrobě se firmě Forez s.r.o. vyplatí technologie tvarového broušení.

Elektroerozivní obrábění	
Předmět ceny	Cena v Kč
Polotovar	64
Frézování polotovaru	350
vrtání	187
kalení	11
Broušení bloku	300
Drátová řezačka	800
Broušení výstupku	100
Cena celkem	1812

Tvarové broušení	
Předmět ceny	Cena v Kč
Polotovar	420
Tvarové broušení	875
Cena celkem	1295

Porovnání cen

Z výše uvedených hodnot vyplývá, že cena výroby jedné součásti při použití technologie tvarového broušení je o 517 Kč nižší v porovnání s cenou při použití technologie elektrodrátového řezání.

7. Závěr

Cílem této bakalářské práce, na téma nahrazení elektrodrátového řezání bylo, porovnat dvě technologie výroby střížníku ve Firmě Forez s.r.o. Hlavním cílem bylo zjistit ekonomickou a časovou úsporu při výrobě střížníku.

Úvodní část je zaměřena na elektroerozivního obrábění, kde je popsána teorie a technologie tohoto obrábění. Další část je zaměřena na náhradu technologie elektrodrátového řezání. Je to část zaměřená na tvarové broušení a návrh polotovaru, s popisem stroje, na kterém jsme realizovali výrobu střížníku. Dále jsou rozepsány technologické postupy s časy a cenami hodinové sazby. Na závěr je uvedeno technicko-ekonomické zhodnocení této práce.

Zjistil jsem, že při použití technologie tvarového broušení výrazně snížíme časy na výrobu střížníku, a z toho vyplývá, že je levnější než technologie s použitím elektrodrátového řezání.

8. Seznam použité literatury

- [1] ŘASA, Jaroslav; POKORNÝ, Přemysl; GABRIEL, Vladimír. *Strojírenská technologie 3–2.díl, Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění*. Pedagogické nakladatelství Scientia, spol. s.r.o., Praha 6 – Břevnov, Radimova 37/50, 169 00, 2005, 2. vydání.
- [2] <http://www.mmspektrum.com/clanek/jednoduche-hlobeni-na-nejvyssi-urovni>
- [3] VINGER, M.; PŘIKRYL, Z. a kolektiv. *Obrábění*. Státní nakladatelství technické literatury, n.p., Praha 1, Spálená 51, 1984, 800 s. 04-250-84. obrazek hloubicky
- [4] <http://www.toolscomp.cz/trendy/tradicni-frezovani-nebo-dratove-rezani/>
- [5] ŘASA, J., KEREČANINOVÁ, Z. Nekonvenční metody obrábění. [online], kód článku: 070710. [cit. 2008-05-14]. Dostupné z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni>
- [6] BARCAL, J. Nekonvenční metody obrábění: Skripta FS ČVUT. Praha: Ediční středisko ČVUT, 198
- [7] <http://www.dtspraha.cz/produkty/dratove-rezani/p-180>
- [8] http://www.misumi-europe.com/index.aspx?lang=CS&fn=sub1_3.aspx&mu=05&css=L2&ref=

9. Seznam příloh

Příloha č.1: Výkres součásti střížníku vyrobeného tvarovým broušením

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Janu Otevřelovi vedoucímu nových projektů IT ve firmě Forez s.r.o , za poskytnutí podkladů a za cenné rady při řešení daného experimentu.

Další poděkování bych chtěl věnovat vedoucímu bakalářské práce panu Doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc za odborné vedení a cenné rady při její tvorbě.